



TUGAS AKHIR – TM145502

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *AGING* PADA
ALUMINIUM 6061 TERHADAP UJI IMPAK,
KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO**

Erik Kurniawan Widyantoro
NRP 10211400000061

Dosen Pembimbing 1
Dr. Atria Pridityana, ST., MT
19851124 200912 2 008

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR – TM145502

**Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada
Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak,
Kekerasan dan Struktur Mikro**

Erik Kurniawan Widyantoro
NRP 10211400000061

Dosen Pembimbing
Dr. Atria Pradityana, ST., MT
19851124 200912 2 008

Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM145502

**The Effect of Aging Temperature Variation
On Aluminium 6061 About Impact, Hardness
and Micro Structure Test**

Erik kurniawan Widyantoro
NRP 10211400000061

Advisor
Dr. Atria Pradityana, ST., MT
19851124 200912 2 008

Industrial Mechanical Engineering Department
Faculty Of Vocational
Institute Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada Bidang Studi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ERIK KURNIAWAN WIDYANTORO

NRP. 10211400000061



SURABAYA, JANUARI 2018

Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro

Nama Mahasiswa : Erik Kurniawan Widyantoro
NRP : 10211400000061
Jurusan : D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Atria Pradityana, ST., MT

Abstrak

Aluminium seri 6061 memiliki unsur paduan aluminium dengan komposisi Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Si, Ti, Zn. Aluminium 6061 merupakan paduan aluminium yang pada umumnya diaplikasikan untuk otomotif maupun alat-alat konstruksi. Paduan aluminium 6061 mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti tahan terhadap korosi, bisa dilaku panas, ketangguhan baik, serta sifat mampu las yang baik, sehingga banyak industri maju menggunakan material ini sebagai bahan utama untuk perancangan alat maupun konstruksi. Selain itu Aluminium seri 6061 juga sering digunakan untuk diaplikasikan pada temperatur dibawah nol derajat, tangki-tanki LNG, bejana tekanan temperatur rendah, peralatan kelautan, rig pengeboran, struktur rangka bangunan, pembangunan struktur pesawat seperti sayap dan badan pesawat, cano, gerbong kereta api, dan konstruksi kapal pesiar.

Metode yang dapat diterapkan untuk mendapatkan aluminium dengan kekerasan dan kekuatan yang optimal antara lain dengan laku panas *presipitation hardening* atau *age hardening*. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur aging terhadap kekerasan, kekuatan dan struktur mikro aluminium 6061 maka

dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur aging terhadap uji kekerasan, kekuatan atau dampak, dan metalografi. Aluminium 6061 dipotong menjadi benda kerja uji kekerasan, uji dampak, dan uji metalografi sesuai dengan standart ASTM. Tahap pertama laku panas aging yaitu benda kerja di laku panas solution treatment dengan temperatur 300°C selama 1 jam. Tahap kedua benda kerja hasil solution treatment diquenching dengan media air. Tahap terakhir benda kerja di aging dengan variasi temperatur 30, 100, 150 dan 200 °C selama 1 jam kemudian di quenching dengan media air. Benda kerja hasil proses aging di uji metalografi, uji dampak, uji kekerasan.

Dari hasil pengujian didapati bahwa kekerasan terus meningkat seiring kenaikan temperatur aging dan kekerasan maksimal didapati pada temperatur 150°C. Kemudian ketika di temperatur 175 dan 200 °C kekerasan menurun. Sedangkan kekuatan dampaknya turun seiring dengan kenaikan temperatur aging dan kekuatan dampak terendah didapati pada temperatur 150°C kemudian ketika di temperatur 175 dan 200°C kekuatan dampak naik. Kekerasan berubah turun dan kekuatan dampak berubah naik ketika di aging pada temperatur 175°C karena itu sudah termasuk daerah over aging.

Kata kunci : *Aluminium 6061, age hardening, quenching, kekerasan, kekuatan dampak*

The Effect of Aging Temperature Variation On Aluminium 6061 About Impact, Hardness, And Micro Structure Test

Student Name : Erik Kurniawan Widyantoro
Identity Number : 10211400000061
Department : D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS
Supervisor : Dr. Atria Pradityana,ST., MT

Abstract

Aluminum 6061 series has aluminum alloy element with composition of Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Si, Ti, Zn. Aluminum 6061 is an aluminum alloy that is generally applied for automotive as well as construction tools. The aluminum alloy 6061 has favorable properties such as corrosion resistance, heat conductivity, good toughness, and good welding properties, so that many advanced industries use this material as the main material for designing tools and construction. In addition the Aluminum 6061 series is also often used to be applied to temperatures below zero degrees, LNG tanks, low pressure pressure vessels, marine equipment, drill rigs, building frame structures, aircraft structure constructions such as wings and fuselage, canoes, railway cars , and yacht construction.

Methods that can be applied to obtain aluminum with hardness and optimal strength include heat retraceptives hardening or age hardening. To find out how the influence of aging temperature on hardness, strength and microstructure of aluminum 6061, the research on the effect of aging temperature variation on hardness test, strength or impact, and metallography. Aluminum 6061 is cut into hard work hardness test, impact test, and metallographic test according to ASTM standart. The first step is heat treatment of hot aging that is workpiece in hot solution treatment treatment with temperature 300oC for 1 hour. The second stage of the workpiece solution solution is

diquenching with water media. The last stage of work is aging with temperature variations of 30, 100, 150 and 200 oC for 1 hour later in quenching with water media. Work on aging process result in metallographic test, impact test, hardness test.

From the results of the test it was found that the violence continues to increase as the aging temperature rise and maximum hardness is found at 150oC. Then when the pressure of 175 and 200 oC hardness decreases. While the impact strength decreases as the aging temperature increases and the lowest impact strength is found at 150oC then when at the temperature of 175 and 200oC the impact strength rises. Violence changes and the impact force changes up when aging at 175oC because it includes over aging areas.

Keywords: Aluminum 6061, age hardening, quenching, hardness, impact strength

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-NYA, sehingga penyusunan tugas Akhir yang berjudul :“ **Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro**” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin Industri. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberi dukungan moril dan materil.
2. Bapak Dr.Atria Pradityana, ST., MT selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
3. Bapak Dr. Heru Mirmanto, ST, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
4. Bapak Ir. Suharyanto, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.

6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Teman-teman dari D3 Teknik Mesin Industri yang telah membantu dalam bentuk semangat, motivasi, dan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Teman-teman D3 Teknik Mesin Industri angkatan 2k14 yang membantu, memberi semangat, dan motivasi dalam belajar di D3 Teknik Mesin Industri dan tugas akhir ini.
9. Para asatidz pengisi kajian rutin yang senantiasa memberi motivasi, dukungan, dan semangat untuk menyelesaikan masalah dunia sebaik mungkin.
10. Para asatidz Mahad Umar Bin Khatab yang mau bertoleransi kepada saya karena belum bisa mengatur jadwal dengan baik antara kuliah pagi dan sore.
11. Teman-teman dari Laboratorium Metalurgi yang selalu memberikan semangat, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.5.1 Bagi Mahasiswa	3
1.5.2 Bagi Industri	3
1.5.3 Bagi Ilmu pengetahuan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Baja Aluminium	5
2.1.1 Klasifikasi Aluminium	6
2.1.2 Aluminium 6061 dan Paduannya	7
2.2 pengerasan penuaan(Age Hardening).....	7
2.2.1 Tahap Perlakuan Panas pelarutan (solution Heattreatment)	9
2.2.2 Tahap Pengejutan/Pendinginan (Quenching)	10
2.2.3 Tahap Penuaan (aging).....	11
2.3 Pengujian mekanik	18
2.3.1 Uji Kekerasan Vickers.....	18
2.3.2 Uji Impak.....	21
2.3.2.1 Prosedur Pengujian Impak.....	22

2.3.2.2 Uji Impak Metode Izod.....	24
2.3.2.3 Uji Impak Metode Charpy.....	25
2.3.2.4 Macam-Macam patahan.....	26
2.3.3 Uji metalografi.....	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	30
3.2 Bahan	32
3.3 Benda Uji.....	32
3.3.1 Benda Uji Metalografi.....	33
3.3.2 Benda Uji Kekerasan.....	33
3.3.3 Benda Uji Impak	33
3.4 Alat Yang Digunakan.....	34
3.4.1 Dapur pemanas.....	34
3.4.2 Peralatan Grinding Dan Polishing.....	34
3.4.3 Peralatan etsa.....	35
3.4.4 Mesin Uji Kekerasan.....	35
3.4.5 Mesin Uji Impak	36
3.4.6 Peralatan Uji Metalography	37
3.5 Langkah-langkah percobaan.....	38
3.5.1 Langkah Perlakuan Panas (Heat Treatment).....	38
3.5.2 Langkah Pengujian Kekerasan	39
3.5.3 Langkah pengujian Impak	39
3.5.4 Langkah Pengujian Metalography	40
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Uji Impak Aluminium 6061 Hasil Proses Aging	42
4.1.1 Data Uji Impak Aluminium 6061 Hasil proses Aging.....	42
4.1.2 Analisa Hasil Uji Impak Aluminium 6061 Dengan Variasi Temperatur Aging	46
4.1.3 Pembahasan Hasil Uji Impak Aluminium 6061 Dengan Variasi Temperatur Aging	46
4.2 Uji Metalografi Aluminium 6061 hasil Proses Aging	47

4.2.1 Data Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses aging	39
4.2.2 Analisa Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging	49
4.2.3 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 Dengan Variasi Temperatur Aging	50
4.3 Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses Aging	45
4.3.1 Data Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses Aging	51
4.3.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging	53
4.3.3 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Skema Age Hardening.....	8
Gambar 2.2 Diagram Fase pemanasan Logam Paduan.....	10
Gambar 2.3 Diagram Urutan Perubahan Fasa Pada Proses Artificial Aging.....	13
Gambar 2.4 (a) <i>supersaturated solute solution</i> , (b) fasa θ'' Mulai terbentuk <i>precipitate</i> (Al-Cu), (c) fase Keseimbangan θ Al-Cu.....	15
Gambar 2.5 Hubungan antara Lama Waktu (Aging) dengan Kekuatan dan kekerasan Paduan Aluminium.....	17
Gambar 2.6 Metode pengujian kekerasan <i>Vickers</i>	19
Gambar 2.7 Hasil Tapak Tekan Pengujian <i>vickers</i>	20
Gambar 2.8 Ayunan Pendulum Alat Uji Impak	23
Gambar 2.9 Pemukulan Pada Metode Izod	25
Gambar 2.10 Hasil Scan Patahan Brittle.....	26
Gambar 2.11 Hasil Scan Patahan Ductile.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Dalam Penelitian Tugas Akhir.....	30
Gambar 3.2 Dimensi Benda Kerja Uji Metalografi.....	33
Gambar 3.3 Dimensi Benda Kerja Uji Kekerasan	33
Gambar 3.4 Dimensi Benda Kerja Uji Impak.....	34
Gambar 3.5 Dapur pemanas	34
Gambar 3.6 Mesin Gerinding Polishing.....	35
Gambar 3.7 Alat Uji Kekerasan	36
Gambar 3.8 Alat Uji Impak.....	37
Gambar 3.9 Mikroskop Uji Metalografi.....	39
Gambar 4.1 Material Hasil Uji Impak.....	44
Gambar 4.2 Grafik Energi Impak Material Aging.....	45
Gambar 4.3 Grafik Kekuatan Impak Material Aging.....	45
Gambar 4.4 Material Uji Metalografi Setelah di Etsa Dengan Larutan Regen Keller's.....	47
Gambar 4.5 Struktur Mikro Material Aging temperatur 100, 125, 150, 175, 200°C	49
Gambar 4.6 Material Hasil Uji Kekerasan.....	51
Gambar 4.7 Grafik Kekerasan Material Aging	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Chemical Composition % of AA 6061	32
Tabel 3.2	Mechanical Properties of AA 6061	32
Tabel 4.1	Data Uji Impak	35
Tabel 4.2	Hasil pengujian Impak Material aging pada Temperatur 100, 125, 150, 175, 200°C	36
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 100, 125, 150, 175, 200°C	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium seri 6061 memiliki unsur paduan aluminium-dengan komposisi Al 96,61Wt %, Cr 0,004 Wt %, Cu 0,15 Wt %, Fe 0,7 Wt %, Mg 1,15 Wt %, Mn 0,15 Wt %, Si 0,8 Wt %, Ti 0,15 Wt %, Zn 0,25 Wt %. Aluminium 6061 merupakan paduan aluminium yang pada umumnya diaplikasikan untuk otomotif maupun alat-alat konstruksi. Paduan aluminium 6061 mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti tahan terhadap korosi, bisa dilaku panas, ketangguhan baik, serta sifat mampu las yang baik, sehingga banyak industri maju menggunakan material ini sebagai bahan utama untuk perancangan alat maupun konstruksi. Selain itu Aluminium seri 6061 juga sering digunakan untuk diaplikasikan pada temperatur dibawah nol derajat, tangki-tanki LNG, bejana tekanan temperatur rendah, peralatan kelautan, rig pengeboran, struktur rangka bangunan, pembangunan struktur pesawat seperti sayap dan badan pesawat, cano, gerbong kereta api, dan konstruksi kapal pesiar. Metode yang dapat diterapkan untuk mendapatkan aluminium dengan kekerasan dan kekuatan yang optimal antara lain dengan laku panas *presipitation hardening* atau *age hardening*. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur aging terhadap kekerasan, kekuatan dan struktur mikro aluminium 6061 maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur aging terhadap uji kekerasan, uji kekuatan, dan uji metalografi.

1.2 Perumusan Masalah

Dari penjelasan uraian latar belakang diatas, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul. Diantaranya adalah :

- 1) Bagaimana pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap uji impak pada aluminium 6061?
- 2) Bagaimana pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap uji kekerasan pada aluminium 6061?
- 3) Bagaimana pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap struktur mikro aluminium 6061?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tingkat ketelitian yang diharapkan , maka disusun batasan masalah guna memperjelas arah dan mengendalikan model sistem yang akan dicapai, yaitu sebagai berikut :

- 1) Dimensi semua benda uji dianggap sama.
- 2) Suhu air yang digunakan untuk pendinginan adalah 30°C.
- 3) Perubahan suhu media pendingin diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- 1) Mengetahui pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap uji impak pada aluminium 6061.
- 2) Mengetahui pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap uji kekerasan pada aluminium 6061.
- 3) Mengetahui pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap struktur mikro pada aluminium 6061.

1.5 Manfaat Penelitian

Berbagai manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1.5.1 Bagi Mahasiswa

Mahasiswa dapat menerapkan pengetahuan dan teori yang selama ini didapatkan dari pembelajaran di bangku kuliah untuk diaplikasikan pada permasalahan yang ada, dan juga dapat mengetahui bagaimana cara untuk meneliti perlakuan panas terhadap sifat mekanik.

1.5.2 Bagi Industri

Dengan dilaksanakan penelitian ini didapatkan data - data dari pengujian berdasarkan struktur mikro, uji kekerasan, dan uji impak maka diharapkan akan diketahui pengaruh temperatur *aging* pada aluminium 6061 yang digunakan sebagai bahan struktur pesawat terbang.

1.5.3 Bagi Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menambah jumlah referensi bagi peneliti lain yang akan melaksanakan penelitian serupa. Terutama mengenai bahan struktur pesawat terbang.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan pengujian impak.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

berisi tentang perhitungan dari pengujian kekerasan dan impak pada setiap variasi temperatur.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Aluminium

Aluminium dan paduannya merupakan logam *non ferrous* yang cukup luas penggunaannya, mulai dari kebutuhan rumah tangga, otomotif sampai ke pesawat terbang. Hal ini disebabkan karena logam ini mempunyai beberapa kelebihan, seperti : *ratio* terhadap beban yang tinggi (*high strength to weight ratio*), ringan (*light*), tahan terhadap korosi dari berbagai macam bahan kimia (*resistence to coorosion by many chemicals*), konduktifitas panas dan listrik tinggi (*high thermal and electrical conductivity*), tidak beracun (*non- toxicity*), memantulkan cahaya (*reflectivity*), mudah dibentuk dan dimachining (*esay of formability and machinability*) dan tidak bersifat magnet (*no magnetic*).

Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik . Aluminium memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Aluminium memiliki karakteristik sebagai logam ringan dengan densitas 2,7 g/cm³. (Abdan Syakuura. 2011)

Metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kekuatan aluminium adalah dengan *Pengerasan Regang* dan *Perlakuan Panas* (*Heat Treatment*). Metode yang lain adalah dengan penambahan unsur-unsur lain ke dalam aluminium, antara lain tembaga, mangan, silisium, magnesium, seng, nikel dan lain-lain. Aluminium dengan penambahan unsur unsur lain ini disebut

Aluminium Alloy (Aluminium Paduan).(Arino Anzip dan Suhariyanto. 2006)

2.1.1 Klasifikasi Aluminium

Menurut American National Standard Institute (ANSI) Standard H35.1 dan Aluminium Association (AA), sistem modifikasi paduan aluminium adalah menggunakan empat digit/angka, dimana angka pertama menyatakan unsur utama paduan (dominan) yang terkandung, seperti berikut ini:

1xxx : mendekati kandungan Aluminium murni (99%Al)

2xxx : tembaga (Cu)

3xxx : mangan (Mn)

4xxx : silicon (Si)

5xxx : magnesium (mg)

6xxx : magnesium dan silicon (Mg,Si)

7xxx : seng (Zn)

8xxx : paduan lainnya

9xxx : dalam pengembangan

Sistem penamaan aluminium tempa (*wrought alloy*) yang ditunjukkan diatas dapat diartikan sebagai berikut, pada digit pertama menunjukkan jenis unsur paduan utamanya, sedangkan pada digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan. Jika digit keduanya 0 mengindikasikan paduan orisinil, integer 1-9 menunjukkannya adanya modifikasi pada paduan orisinil. Pada digit ketiga dan keempat tidak menunjukkan signifikasi khusus, hanya untuk membedakan kelompok paduan aluminium yang berbeda. Berdasarkan metode pengerasannya, aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu, *heat treatable alloys* dan *non heat treatable alloys*. *Heat treatable alloys* adalah paduan aluminium yang dapat diperkeras dengan penuaan (*aging*). Sementara *non heattreatable alloys* tidak dapat diperkuat dengan

penuaan melainkan dengan penguatan larutan-padat (*solid solution strengthening*), pengerasan butir (*strain hardening*), atau pengerasan dispersi (*dispersion strengthening*). Paduan tempa yang dapat diperkuat lewat perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Sedangkan pada seri 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx merupakan non *heat treatable alloys* pada paduan ini sifat mekanik diperoleh melalui mekanisme *hot working* dan *cold working* selama proses produksi dan dalam pekerjaan pasca produksi dengan proses pengerasan seperti pengerasan regangan dan *full annealing*. Hal ini dilakukan untuk paduan milik 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx series. (Abdan Syakuura. 2011)

2.1.2 Aluminium 6061 dan Paduannya

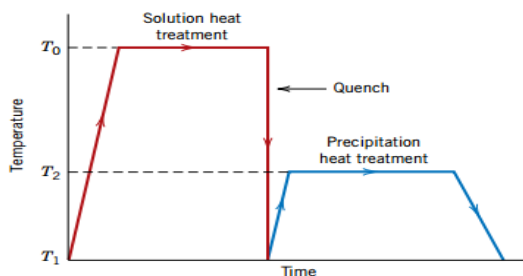
Aluminium seri 6061 memiliki unsur paduan utama Mg dan bersifat heat treatable atau age-hardenable. Selama age hardening presipitat terbentuk di dalam suatu super saturated solid solution dan kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah dan ukuran presipitat hingga mencapai nilai maksimum, kemudian material over ageing sehingga sifat mekanik berkurang.

Paduan Al-Mg-Si yang merupakan bagian dari komposisi aluminium seri 6xxx mempunyai kekuatan yang kurang baik sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya. Tetapi sangat liat, sangat baik mampu membentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan lain-lain. (Tomoya Aoba, Masakazu Kobayashi, Hiromi Miura. 2017)

2.2 Pengerasan Penuaan (*Age Hardening*)

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan logam aluminium sampai

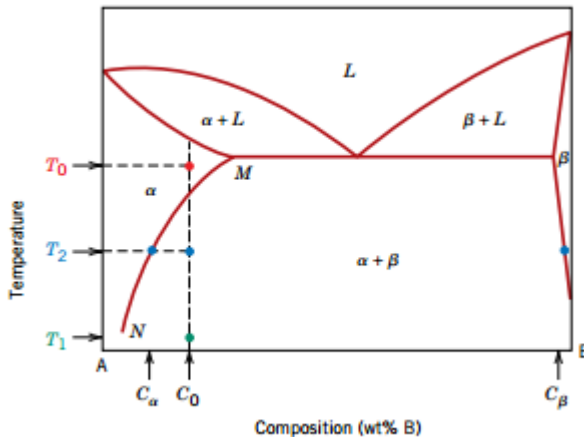
temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*). (Adeyemi Dayo Isadarea, Bolaji Aremob, Mosobalaje Oyebamiji Adeoyec, Oluyemi John Olawalec, Moshood Dehinde Shittuc. 2013). Melalui penuaan keras (*age hardening*), logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Dahulu orang menyebut penuaan keras (*age hardening*) dengan sebutan pemuliaan atau penemperan keras. Penamaan tersebut kemudian dibakukan menjadi penuaan keras (*age hardening*) karena penemperan keras pada logam paduan aluminium berbeda dengan penemperan keras yang berlangsung pada penemperan keras baja. Paduan aluminium yang dapat dituakeraskan atau di *age hardening* dibedakan atas paduan aluminium yang dapat dituakeraskan dalam keadaan dingin dan paduan aluminium yang dapat dituakeraskan dalam keadaan panas. Penuaan keras (*age hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu *solution treatment*, *quenching*, dan *aging*. Seperti gambar 2.1 berikut



Gambar 2.1 skema age hardening
(Callister, D.William dan David G.Rethwisch. 2013)

2.2.1 Tahap perlakuan panas pelarutan (*solution heattreatment*)

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550-560 °C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja. Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 2.1 dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur T_0 . Pada temperatur T_0 fase logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran α dalam larutan padat. Pada temperatur T_0 tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen. (FUAD ABDILLAH. 2010). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.2 berikut



Gambar 2.2 Diagram fase pemanasan logam paduan..

(Callister, D.William dan David G.Rethwisch. 2013)

2.2.2 Tahap Pengejutan / Pendinginan (*Quenching*)

Quenching merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Dalam proses *age hardening* logam yang diquenching adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau hardenabiliti yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium.

Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (300°C) ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat*

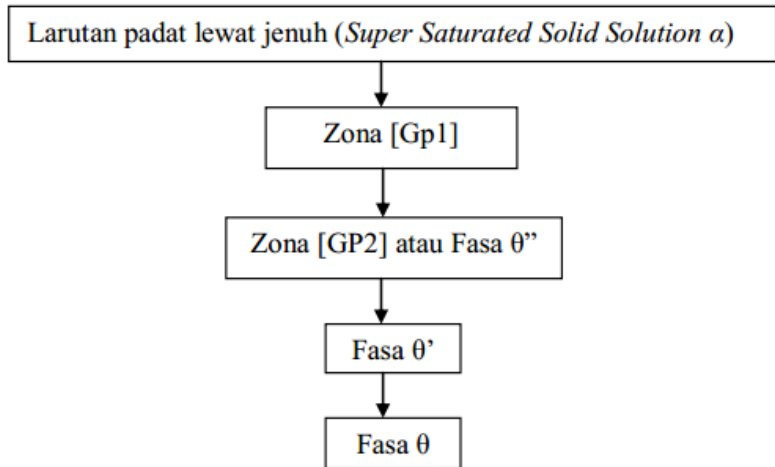
treatment dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. (Abdan Syakuura. 2011)

Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk *zona Guinier - Preston* (Zona GP). *Zona Guinier - Preston* (Zona GP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat *agregasi* atom padat atau pengelompokan atom padat. (Prof. Ir. Tata Surdia MS. Met. E. and Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999)

2.2.3 Tahap Penuaan (*Aging*)

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15 °C - 25 °C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100 °C -200 °C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam. (FUAD ABDILLAH. 2010)

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150 °C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium. Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C - 200°C. Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100 °C - 200 °C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap penguatan. Urutan perubahan fasa dalam proses *artificial aging* adalah sebagai gambar 2.3 berikut (FUAD ABDILLAH. 2010) :



Gambar 2.3 Diagram Urutan Perubahan Fasa pada Proses Artificial Aging

(Sumber : Smith, 1995)

a. Larutan Padat Lewat Jenuh (*Super Saturated Solid Solution α*)

Setelah paduan aluminium melewati tahap *solution heat treatment* dan *quenching* maka akan didapatkan larutan padat lewat jenuh pada temperatur kamar. Pada kondisi ini secara simultan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Setelah pendinginan atau *quenching*, maka logam paduan aluminium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.

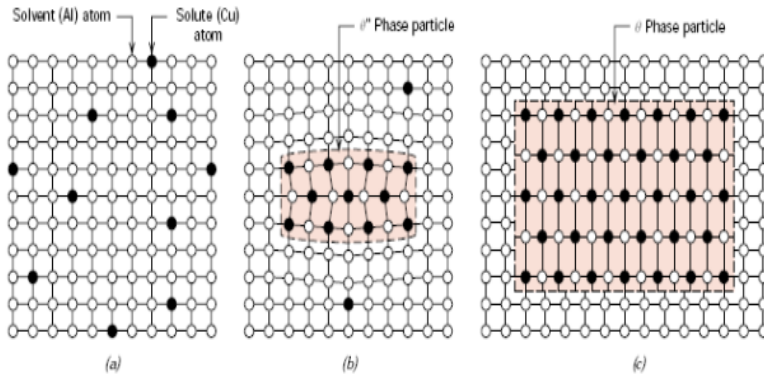
b. Zona [GP 1]

Zona [GP 1] adalah zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau *aging* yang rendah dan dibentuk oleh *segregasi* atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau *super*

saturated solid solution α . Zona [GP 1] akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100 °C atau mulai temperatur ruang hingga temperatur 100 °C dan Zona [GP 1] tidak akan terbentuk pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi. Terbentuknya Zona [GP 1] akan mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan alumunium. Jika *artificial aging* ditetapkan pada temperatur 100 °C, maka tahap perubahan fasa hanya sampai terbentuknya zona [GP 1] saja. Proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh sampai terbentuknya zona [GP 1] biasa disebut dengan pengerasan tahap pertama. (Prof. Ir. Tata Surdia MS. Met. E. and Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999)

c. Zona [GP 2] atau Fasa θ''

Setelah temperatur *artificial aging* melewati 100 °C ke atas, maka akan mulai muncul fasa θ'' atau zona [GP 2]. Pada temperatur 130 °C akan terbentuk zona [GP2] dan apabila waktu penahanan *artificial aging*nya terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal. Dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 (a) *supersaturated solute solution*, (b) fasa θ'' mulai terbentuk *precipitate (Al-Cu)*, (c) fasa keseimbangan θ Al-Cu (Callister, D. William dan David G. Rethwisch. 2013)

Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona [GP 2] dan terbentuknya fasa antara yang halus (presipitasi θ''), karena setelah melewati zona [GP 2] maka paduan akan kembali menjadi lunak kembali. Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa θ'' atau zona [GP 2], maka disebut dengan pengerasan tahap kedua. Gambar 2.2. menunjukkan terbentuknya kembali fasa keseimbangan pada proses *aging* aluminium-tembaga (Al-Cu) sehingga paduan akan kembali ke fasa awal yaitu θ . (Prof. Ir. Tata Surdia MS. Met. E. and Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999)

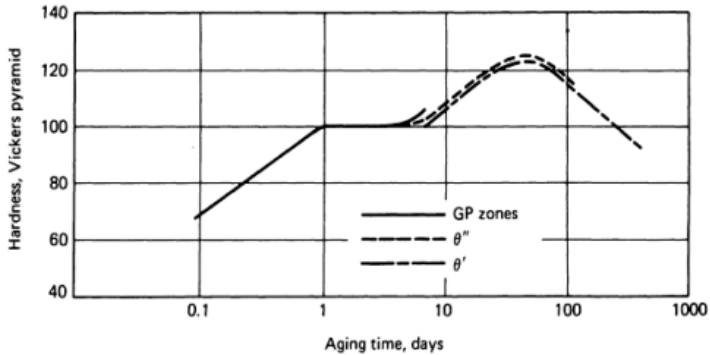
d. Fasa θ'

Kalau paduan aluminium dinaikkan temperatur *aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperaturnya tetap, maka akan terbentuk *precipitation* dengan struktur kristal yang teratur yang

berbeda dengan fasa θ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa θ' . Terbentuknya fasa θ' ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan alumunium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa θ' ini berjalan sangat lambat. (Prof. Ir. Tata Surdia MS. Met. E. and Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999)

e.Fasa θ

Apabila temperatur dinaikan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa θ' berubah menjadi fasa θ . Jika fasa θ terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak. Sementara waktu penahanan dalam *artificial aging* merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa paduan aluminium. Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati. Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *supersaturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Hubungan Antara Lamanya Waktu (*aging*) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium. (FUAD ABDILLAH. 2010)

Dalam kurva penuaan tersebut, pada awal-awal tahap *artificial aging* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*). Seiring dengan penambahan waktu penuaan atau ketika penuaan sampai di daerah *under aged*, maka mulai terbentuk zona *presipitat* zona [GP 1] dan paduan aluminium menjadi agak kuat dan keras. Ketika waktu *aging* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peak aged*. Pada daerah *peak aged* presipitat mengumpul atau mulai terbentuk zona [GP 2] dan fasa antara yang halus (fasa θ'). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan logam paduan aluminium yang optimal. Apabila setelah mencapai *peak aged* (puncak penuaan) waktu *artificial aging* masih ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *over aged*. Pada daerah *over aged* ini akan didapatkan fasa θ , jika fasa θ ini terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan berkurang kekerasannya.

2.3 Pengujian Mekanik

Untuk mengetahui atau mengukur sifat logam tersebut perlu dilakukan pengujian. Pengujian biasanya dilakukan terhadap contoh (*sample*) bahan yang dipersiapkan menjadi specimen atau batang uji (*test piece*) dengan bentuk dan ukuran yang standar. Demikian juga prosedur pengujian harus dilakukan dengan cara-cara yang standar (mengikuti suatu standar tertentu), baru kemudian dari hasil pengukuran pada pengujian dapat diambil kesimpulan mengenai sifat mekanik yang di uji. Sebenarnya hasil pengujian yang paling mendekati kenyataan akan dapat diperoleh bila pengujian dilakukan terhadap benda komponen atau keseluruhan konstruksi dengan bentuk dan ukuran sebenarnya (*full scale*) dan pengujian dilakukan dengan pembebanan yang mendekati keadaan yang sebenarnya. Tetapi cara ini terlalu mahal, tidak praktis dan bahkan kadang-kadang sulit dianalisis.

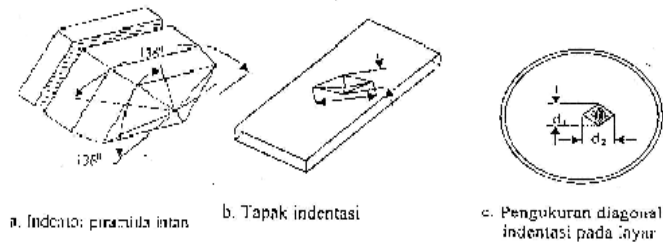
Beberapa pengujian mekanik yang banyak dilakukan adalah pengujian tarik (*tensile test*), pengujian kekerasan (*hardness test*), pengujian pukul-takik (*impact test*), kadangkadang juga pengujian kelelahan (*fatigue test*), creep test, bending test, compression test dan beberapa fabrication test.

2.3.1 Uji Kekerasan Vickers

Pada dasarnya metode pengujian kekerasan *Vickers* hampir sama dengan *Brinell* hanya indentornya saja yang berbeda. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada metode pengujian kekerasan *Vickers* adalah sebagai berikut :

- 1) Spesimen harus memenuhi persyaratan:
 - Permukaan harus rata dan halus
 - Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horizontal
- 2) Indentor yang digunakan adalah *pyramid* intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang

berhadapan adalah 136° . Metode pengujian *Vickers* dapat dilihat pada Gambar 2.6



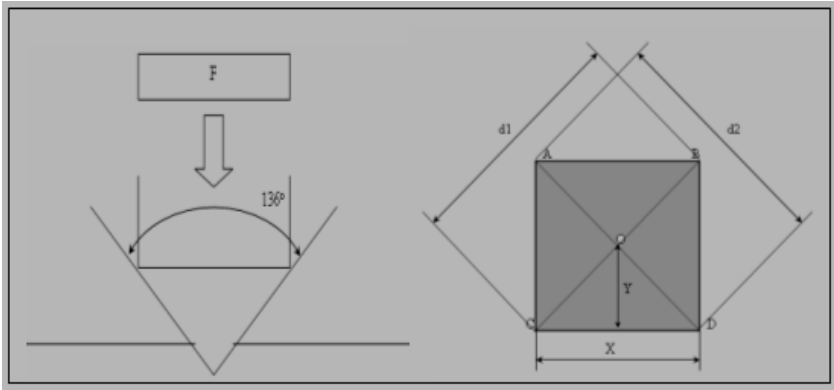
Gambar 2.6 Metode pengujian kekerasan *Vicker*
(ASTM International Standart E92-82)

- 3) Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk pelat yang tipis harus digunakan beban yang ringan, sehingga tidak terjadi *anvile effect*.
- 4) Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan identor pada permukaan specimen selama 10-30 detik.
- 5) Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan DPH (*Vickers Diamond Pyramid Hardness*) yang dihitung berdasarkan diagonal identasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{DPH} &= \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d^2 \\ &= 1,854 P/d^2 \end{aligned}$$

Dimana: P = Gaya tekan (kgf)
 d = diagonal identasi (mm)
 $\alpha = 136^\circ$

Persamaan ini didapatkan dari :



Gambar 2.7 Hasil tapak tekan pengujian *Vickers* (ASTM International Standart E92-82)

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$X = d \cos 45^\circ$$

$$= \frac{1}{2} d \sqrt{2}$$

$$Y = \frac{1}{2} X / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$L \Delta AOB = \frac{1}{2} X \cdot Y$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \right) / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{8} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$A = 4 \cdot L \Delta AOB$$

$$= 4 \cdot \left(\frac{1}{8} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$= \left(\frac{1}{2} d^2 \right) / \cos 22^\circ$$

$$\begin{aligned}
 HVN &= \frac{P}{A} \\
 &= 1,854 \frac{P}{d^2}
 \end{aligned}$$

6) Penulisan nilai kekerasan seperti contoh berikut : 150 DPH
150/10

Dimana: 150 = Nilai Kekerasan

DPH = Metode Pengujian *Vickers*

150 = Gaya Pembebanan (kgf)

10 = Waktu Pembebanan (detik)

7) Sama dengan pengujian kekerasan dengan *Brinell*, karena pengukuran dilakukan secara manual maka terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan ukur. Kesalahan itu mungkin terjadi pada saat pemfokusan objek pada layar, peletakan alat ukur pada objek dan pembacaan pengukurannya.

2.3.2 Uji Impak

Sebuah tes untuk mengukur jumlah energi yang diserap saat mematahkan takikan pada benda uji dengan satu pukulan yang dilakukan oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan dilakukan pada permukaan yang sama dengan permukaan takikan dan pada ketinggian tertentu diatasnya.

Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda uji, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut.

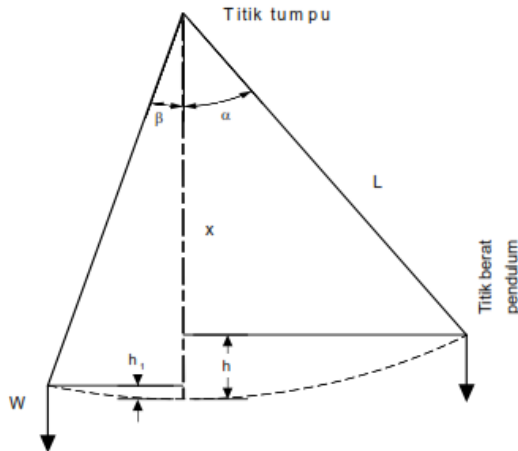
Takik atau notch memegang peranan yang penting terhadap kekuatan impact suatu material. Dua buah benda yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impact yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan atau korosi lokal yang bisa berdifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*) Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan Brittle material yang menjadi patah pada beban dibawah yield strength.

Kekuatan Impact suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah Impact.

2.3.2.1 Prosedur Pengujian Impact

- 1) Menyiapkan peralatan yang akan digunakan untuk pengujian
- 2) Periksa posisi nol mesin dengan menaikkan pendulum ke posisi latch, gerakkan pointer mendekati kapasitas maksimal kisaran yang digunakan, lepaskan pendulum, dan baca nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk. Penunjukan harus menunjukkan nol pada mesin pembaca.
- 3) Spesimen uji secara termal dikondisikan dan diposisikan pada landasan. Pendulum dilepaskan tanpa getaran, dan spesimen dipukul oleh pemukul. Informasi diperoleh dari mesin dan spesimen yang telah dipukul.
- 4) Benda uji dijepit pada landasan
- 5) Untuk melakukan tes, persiapkan mesin dengan cara menaikkan pendulum ke posisi latch, atur indikator energi

pada skala maksimum. Posisikan spesimen pada landasan dan lepaskan pendulum.



Gambar 2.8 Ayunan Pendulum Alat Uji Impak (Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto. 2011)

Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk mematahkan test piece dapat dihitung dengan penurunan rumus sebagai berikut:

$$\text{Energi awal } (E_0) = W h_0 = W (L - L \cdot \cos \alpha) \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W h_1 = W (L - L \cdot \cos \beta) \quad \dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) dan persamaan (2)

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = (W(L - L \cdot \cos \alpha)) - (W(L - L \cdot \cos \beta))$$

$$\Delta E = W \cdot L(\cos \beta - \cos \alpha) \quad \dots\dots (3)$$

Untuk mendapatkan nilai kekuatan impak ΔE (Joule) dibagi dengan luas penampang benda kerja dibagian yang patah (mm^2)

$$IS = \frac{W \cdot L(\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$

Dimana:

W = Berat dari pendulum (kgm)

h_0 = Ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m)

h_1 = Ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m)

α = Sudut awal ($^\circ$)

β = Sudut akhir ($^\circ$)

L = Jarak titik tumpu ke titik berat (m).

A = Luas penampang test piece bagian yang tertakik (mm^2).

IS = Kekuatan Impak (kgm/mm^2) atau (Joule)

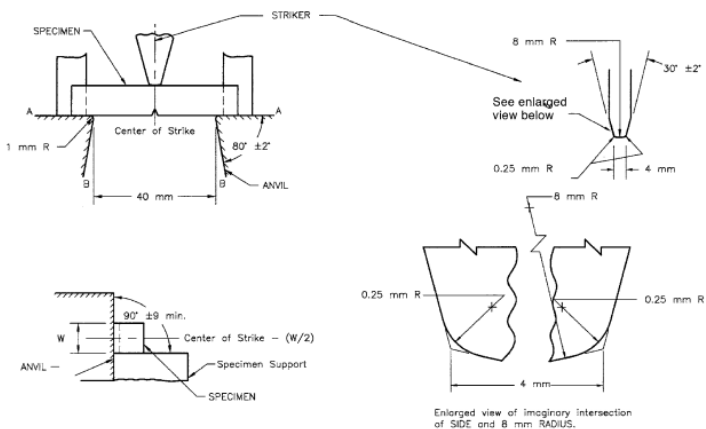
2.3.2.2 Uji Impak Metode Izod

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan memukul pada permukaan yang sama dengan takikan dan pada ketinggian tertentu di atasnya. Pengujian biasanya dilakukan pada temperatur ruangan di tempat pengujian. Pada pengujian metode izod benda kerja harus diatur secara akurat pada posisinya, sehingga bagian

tengah dari takikan bertemu permukaan atas pencekam, dan penyimpangan dari bidang takikan dari permukaan atas pencekam harus kecil tidak melebihi 0,4 mm. (Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto. 2011)

2.3.2.3 Uji Impak Metode Charpy

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum takikan benda uji berada ditengah-tengah dan dicekam pada setiap ujungnya. Benda uji dicekam secara horizontal pada setiap ujung-ujung benda uji. Pada metode charpy benda kerja harus diatur secara presisi agar bagian takikan bertemu tengah-tengah dari pemukul. Seperti pada gambar 2.9 berikut



Gambar 2.9 Pemukulan Pada Metode Izod (Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto. 2011)

2.3.2.4 Macam-Macam Patahan

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile fracture*. Material yang mengalami brittle fracture hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami patahan. Patah yang terjadi akibat pengujian impak ini ada 3 macam antara lain :

1) Patahan getas (*brittle*)

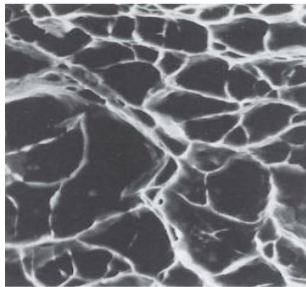
Patahan ini mempunyai bentuk yang rata serta mempunyai permukaan yang mengkilap. Apabila potongan dari patahan brittle ini kita sambungkan kepatahan itu tidak dibarengi dengan deformasinya bahan. Patahan brittle ini mempunyai nilai pukulan takik yang rendah. Hasil dari scan electron pada patahan ini dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Hasil Scan Elektron Patahan *Brittle*
(Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto.
2011)

2) Patahan ulet (*ductile*)

Patahan ulet ini mempunyai permukaan patahan yang tidak merata, buram dan berserat. Patahan ulet ini mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi. Hasil dari scan electron pada patahan ini dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Hasil Scan Elektron Patahan Ductile (Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto. 2011)

2.3.2 Uji Metalografi

Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda dan sifat mekaniknya pun akan berbeda. Untuk dapat melihat struktur mikro suatu paduan (material) maka diperlukan mikroskop dengan perbesaran yang

tinggi, yaitu sampai 1000 kali. Struktur mikro adalah gambar atau konfigurasi distribusi fase-fase, apabila diamati dengan menggunakan mikroskop optik akan dapat dipelajari antara lain :

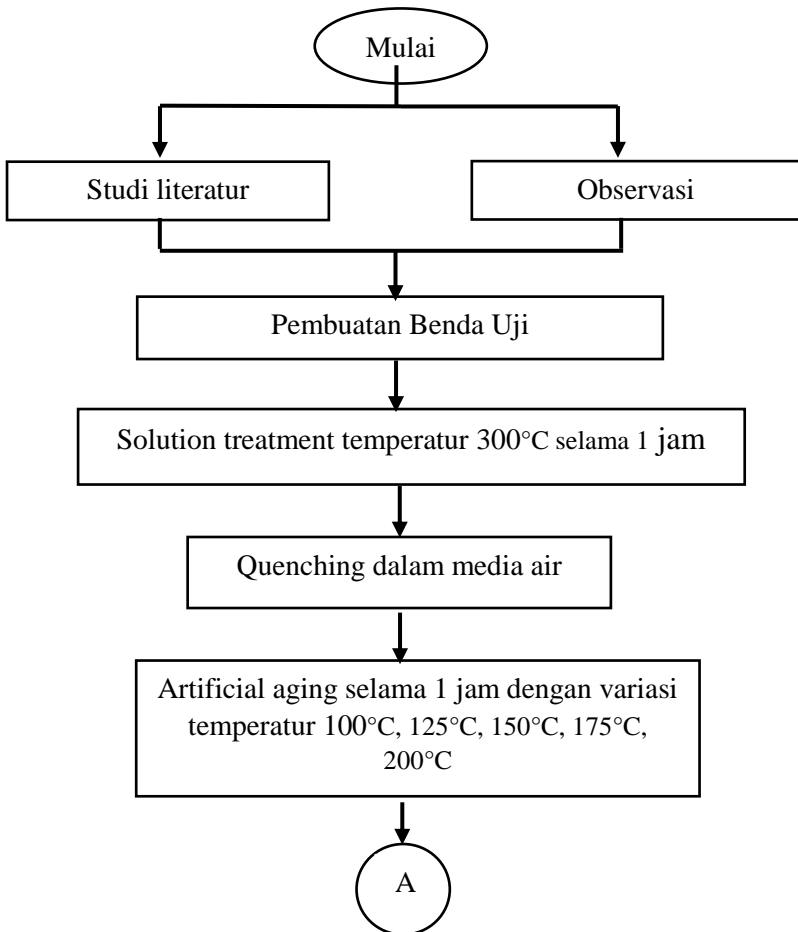
- Type Fase
Mewakili nama khas pada logam tertentu misalnya pada besi dapat berupa ferrit, perlit, eutectoid dan sebagainya.
- Ukuran butiran
Mewakili dimensi dari fase dibandingkan dengan dimensi lainnya, misalnya ukuran grafit dan ukuran butiran.
- Distribusi
Mewakili daerah penyebaran masing-masing fase daianantara luasan yang menjadi pengamatan dalam sample tersebut.

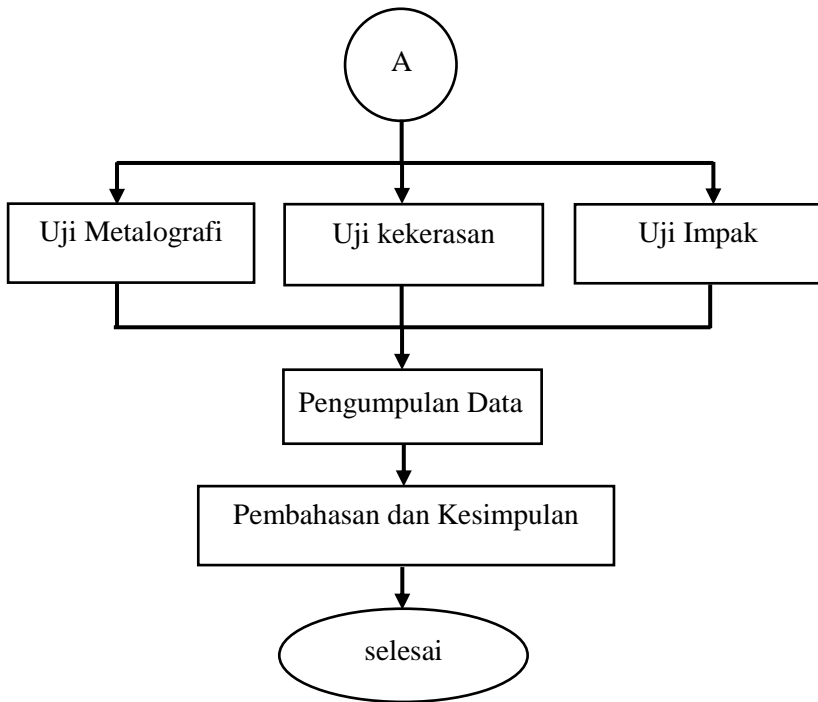
Melalui pengujian metalografi maka dapat dilihat dan dianalisa struktur mikronya kemudian dapat dikaitkan dengan sifat material tersebut. Pembentukan struktur mikro erat kaitannya dengan proses pembuatan material tersebut, meliputi pemberian paduan dan perlakuan lanjut seperti perlakuan panas. (Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto. 2011)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flowchart, bisa dilihat pada diagram dibawah ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Dalam Penelitian Tugas Akhir

Berikut beberapa penjelasan dari Gambar 3.1 diagram alir dalam pembuatan tugas akhir ini.

Studi Literatur

Studi *literatur* adalah proses yang dilakukan untuk mencari dan mempelajari referensi tentang aluminium 6061 dan teori dari pengujian yang bisa dilakukan pada aluminium tersebut agar memudahkan dalam penyusunan penelitian tugas akhir ini.

Observasi

Terjun ke lapangan yaitu dengan cara mencari penjualan aluminium yang bersertifikat dan alat-alat yang dipakai dalam pengujian pada penelitian tugas akhir ini.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang sudah siap dan memenuhi kriteria dalam penelitian ini maka akan dilakukan proses pemotongan benda uji sesuai ukuran dan bentuk yang sesuai dalam penelitian ini.

***Solution Treatment* pada Temperatur 300°C Selama 1 Jam**

Setelah proses pembuatan benda uji telah selesai dipotong sesuai standard pengujian, maka tahap selanjutnya adalah melakukan *solution treatment* pada temperatur 300°C selama 1 jam.

Pendinginan Secara Cepat (*Quenching*) pada Media Air

Pada pendinginan secara cepat atau *quenching* pada penelitian ini menggunakan media air, karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk paduan logam dengan *hardenability* yang relatif rendah.

Artificial Aging dengan *Holding Time* 1 Jam

Setelah diproses pendinginan *quenching* media air, benda uji masuk dalam proses berikutnya, *artificial aging* dengan *holding time* 1 jam menggunakan variasi temperatur 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C. Setiap variasi temperatur menggunakan 3 bahan uji.

Pengujian Metalografi, Kekerasan, Dan Impak

Pengujian metalografi, kekerasan, dan impak dilakukan setelah benda uji selesai dari proses *artificial aging*. Setelah *artificial aging* benda diproses pendinginan lagi dengan media air.

Pengumpulan Data

Data didapat setelah seluruh proses terlaksana, proses pengumpulan data dilakukan guna mendapat data untuk dianalisa dan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini.

3.2 Bahan

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah paduan aluminium AA 6061. Komposisi dari material ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2 berikut. Sertifikat dari aluminium AA 6061 terdapat pada lampiran.

Tabel 3.1 Chemical composition % of AA 6061

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
Contents	0.66	0.25	0.31	0.08	0.99	0.16	0.01

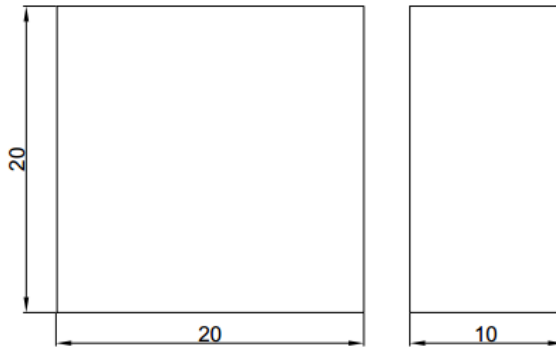
Tabel 3.2 Mechanical Properties of AA 6061

Tensile Strength MPa	Yield Strength Mpa	Elongation %	Harness Vickers
276	386	12	107

3.3 Benda Uji

3.3.1 Benda Uji Metalografi

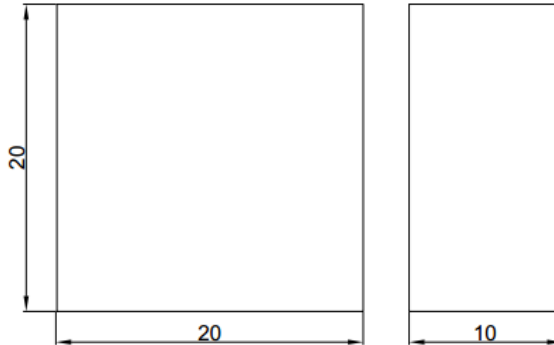
Benda uji sesuai standart ASTM E3-95 yang bisa dilihat pada gambar 3.1 berikut



Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja Uji Metalografi

3.3.2 Benda Uji Kekerasan

Benda uji sesuai standart ASTM E18-03, standar ini bisa dilihat pada gambar 3.2



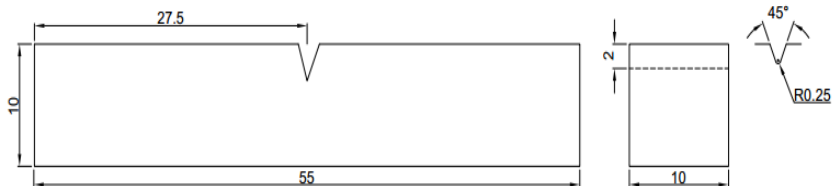
Gambar 3.2 Dimensi Benda Uji Kekerasan

3.3.3 Benda Uji Impak

Benda uji berbentuk sesuai standart dimensi uji Impak ASTM E23 – 07a yang merujuk pada ASTM E23, dapat dilihat

pada gambar 3.3. Dengan dimensi benda uji 55 mm x 10 mm x 10 mm.

- Dalam takikan = 2 mm
- Jari – jari Takikan = 0.25 mm
- Sudut Takikan 45°

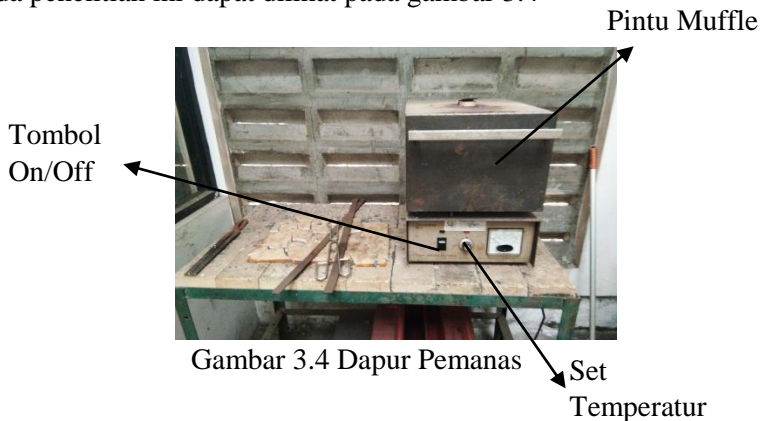


Gambar 3.3 Dimensi Benda Uji Impak

3.4 Alat yang Digunakan

3.4.1 Dapur Pemanas

Dapur pemanas ini digunakan untuk memberikan treatment pada bahan uji. Dapur pemanas yang digunakan adalah *Thermolyne type 48000 furnace*. Dapur pemanas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Dapur Pemanas

3.4.2 Peralatan Grinding dan Polishing

Peralatan ini berfungsi untuk meratakan benda uji, sehingga pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan dapat dimudahkan.

Sedangkan polishing dengan menggunakan kain wol dan autosol berfungsi untuk mendapatkan permukaan benda uji yang mengkilap.



Gambar 3.5 Mesin Grinding dan Polishing

3.4.3 Peralatan Etsa

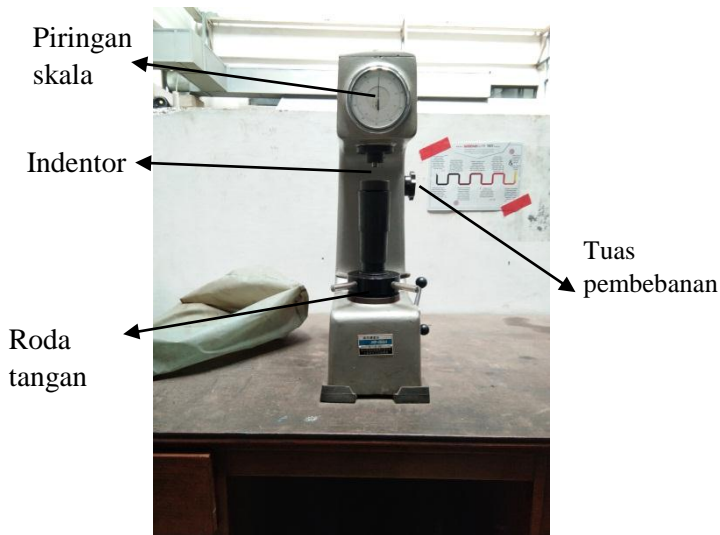
Pengetsaan adalah mereaksikan sampel dengan larutan kimia Etsa (Keller's = 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ , 190 ml H₂O). Cara melakukannya adalah seperti langkah berikut :

- Mencelupkan specimen ke cairan alcohol selama 15 detik.
- Mencelupkan permukaan sampel kedalam cairan etsa yang berada dalam cawan keramik selama 10-20 detik.
- kemudian basuhlah dengan alkohol setelah itu keringkan pada udara panas.

3.4.4 Mesin Uji Kekerasan

Mesin *Hardenability Test* yang digunakan adalah *vickers hardness* dengan acuan standart uji kekerasan ASTM E 92 – 82, yang dinyatakan dalam HRV. Indentor yang digunakan yaiyu indentor intan berbentuk pyramid sisi empat terbalik dengan sudut

apex 136° dan beban 100 Kg. Dilakukan identasi sebanyak 3 kali di tempat yang berbeda pada setiap benda uji. Gambar dari alat uji kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut



Gambar 3.6 Alat Uji Kekerasan

3.4.5 Mesin Uji Impak

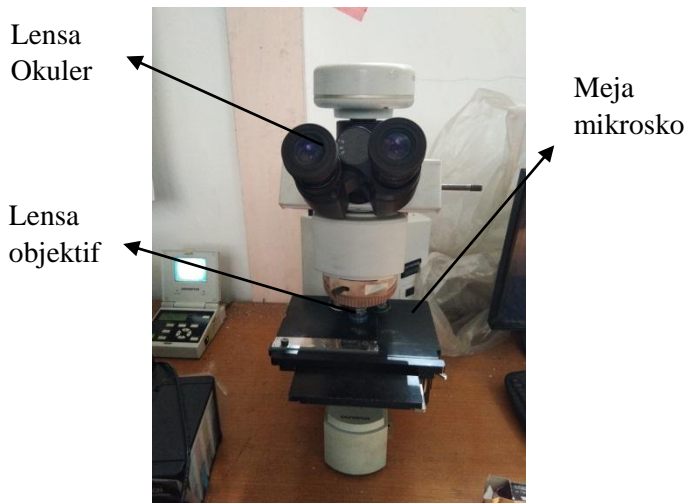
Mesin yang digunakan pada Uji Impak adalah Mesin Impak Charpy Tipe HT-8041A dengan standard ASTM A370-07a yang merujuk pada ASTM E23. Benda uji yang digunakan di setiap pengujian berjumlah 3. Mesin uji impak yang dipakai dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut



Gambar 3.7 Alat Uji Impak

3.4.6 Peralatan Uji Metalography

Untuk dapat melihat struktur mikro suatu paduan (material) maka diperlukan mikroskop dengan perbesaran yang tinggi, yaitu sampai 1000 kali. Mikroskop uji metalografi dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut



Gambar 3.8 Mikroskop Uji Metalografi

3.5 Langkah-langkah Percobaan

3.5.1 Langkah Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Aluminium 6061 yang telah dibentuk sesuai specimen pengujian selanjutnya. Tahap yang pertama yaitu specimen dilakukan proses *solution treatment* dengan temperatur 300°C selama 1 jam. Tahap yang kedua yaitu specimen hasil proses *solution treatment* di *quenching* dalam media air. Tahap yang ketiga yaitu specimen diberi perlakuan *artificial aging* dengan variasi temperatur 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, 200°C selama 1 jam. Adapun langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

- 1) Dilakukan proses *solution treatment* yaitu benda kerja dimasukkan ke dalam oven pemanas dengan temperatur 300°C dan diberi waktu penahanan 1 jam.
- 2) Setelah itu benda kerja dikeluarkan dari oven dengan menggunakan tang penjepit dan didinginkan dengan medium pendingin air.
- 3) Benda kerja dibiarkan sampai dingin.
- 4) Kemudian benda kerja dilakukan proses *artificial aging* dengan dimasukkan ke dalam oven pemanas dengan temperatur 100° dan diberi waktu penahanan 1 jam
- 5) Setelah didapat hasil proses tersebut kemudian benda kerja di uji kekerasan, uji impak, uji metalografi.
- 6) sebelum di uji metalografi benda kerja di amplas dengan menggunakan kertas gosok sampai rata.
- 7) Setelah itu di polishing dengan menggunakan autosol dan digosok dengan kain halus sampai mengkilat
- 8) Ulangi langkah 1 sampai dengan 7 dengan mengubah temperatur *artificial aging* yaitu sebesar 125°C, 150°C, 175°C, 200°C

3.5.2 Langkah Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari benda uji setelah diberi perlakuan panas. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- 1) Spesimen harus memenuhi persyaratan:
 - Permukaan harus rata dan halus
 - Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horizontal
- 2) Identor yang digunakan adalah *pyramid* intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136° .
- 3) Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk pelat yang tipis harus digunakan beban yang ringan, sehingga tidak terjadi *anvile effect*.
- 4) Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan identor pada permukaan specimen selama 10-20 detik.
- 5) Mengukur diagonal indentasi.
- 6) Nilai kekerasan pengujian satuan DPH (*Vickers Diamond Pyramid Hardness*) yang dihitung berdasarkan diagonal indentasi.

3.5.3 langkah Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari benda uji sebelum diberi perlakuan panas dan setelah diberi perlakuan panas. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- 1) Membersihkan spesimen dari kerak sisa dari perlakuan panas.
- 2) Beri tanda pada setiap spesimen yang akan di uji agar tidak tertukar.
- 3) Catat data pada mesin uji impak.
- 4) Pasang benda kerja pada mesin uji impak.
- 5) Naikkan pendulum sampai sudut 140° .
- 6) Tepatkan jarum pada posisi 0° .
- 7) Ayunkan pendulum.

- 8) Catat sudut yang ditunjuk oleh jarum penunjuk hasil pengujian.
- 9) Ambil benda kerja, dan amti jenis patahan yang ada pada benda uji.

3.5.4 Langkah Pengujian Metalography

Melalui pengujian metalografi maka dapat dilihat dan dianalisa struktur mikro benda uji sebelum dan sesudah diberi perlakuan panas, kemudian dapat dikaitkan dengan sifat material tersebut. Adapun langkah-langkanya adalah sebagai berikut:

- a) Nyalakan koputer terlebih dahulu.
- b) Pastikan kabel konektor (USB) yang menghubungkan antara mikroskop dan koputer terpasang dengan baik.
- c) Nyalakan *Control Box (olympus video)* terlebih dahulu sebelum menyalakan mikroskop dengan menekan tombol power.
- d) Kemudian nyalakan mikroskop dengan menekan tombol power pada mikroskop tersebut.
- e) Setelah *Control Box* dan mikroskop dalam kondisi menyala, periksalah koneksi sekali lagi antara komputer dan mikroskop. Apabila belum terkoneksi, periksalah kembali sambungkan kabel konektor tersebut.
- f) Terkadang koneksi tidak terdeteksi secara otomatis pada komputer, oleh karena itu anda perlu mengaktifkan *add hardware* pada *control panel* komputer anda. Setelah itu pastikan terdeteksi pada komputer(ditandai dengan bunyi "ding-ding" pada komputer). Hal ini hanya dilakukan bila koneksi tidak terjadi secara otomatis!
- g) Setelah semua sambungan terkoneksi dengan baik, ambilah gambar struktur mikro yang terlihat pada *olympus video* atau pada mikroskop dengan menekan tombol *Expose* (berwarna hijau) pada *olympus video*. Biarkan beberapa saat sampai proses selesai.

- h) Untuk pengambilan gambar, pastikan tanda strip putih pada pojok kiri bawah layar *Control Box (olympus video)* mendekati garis merah. Keterangan lebih lengkap baca pada lampiran!
- i) Lakukan pengambilan gambar sesuai yang dibutuhkan.
- j) Untuk mentransfer gambar pada komputer tekanlah icon OLYP 12 pada *desktop*. lalu klik dobel pada folder My Camera, setelah itu klik pada folder DCIM diteruskan dengan mengeklik folder 100 OLYP. Tunggu beberapa saat, biarkan sampai semua gambar tertera pada *soft ware* tersebut.
- k) Untuk menyipan gambar, silakan *drag* gambar struktur mikro pada folder dimana anda ingin menyimpannya (ex: pada folder flasdisk anda). Atau anda dapat menyimpannya pada My Document lalu kemudian memindahkannya pada flasdisk anda.
- l) Setelah semua proses selesai, matikan terlebih dahulu power mikroskop dan *olympus video* baru kemudian cabutlah stopkontak keduanya.
- m) Matikanlah komputer anda.
- n) Amati struktur mikro dari hasil perbesaran dengan mikroskop.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Impak Aluminium 6061 Hasil Proses Aging

Proses aging pada aluminium 6061 dilakukan sebelum uji impak. Variabel yang diubah adalah temperatur proses aging dan waktu tahan (holding time) dibuat tetap yaitu selama 1 jam. Uji impak bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur aging terhadap energi impak dan kekuatan impak.

Pada uji impak penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut, dilakukan dengan menggunakan mesin impak charpy tipe HT-8041A. Berat (W) pendulum pada mesin ini adalah 131,7N. Jarak titik berat dari pendulum ke sumbu putar 0 (L) senilai 0,60m. sudut awal (α) senilai 140° . Sudut akhir (β) Dari uji Impak ($^\circ$). Luas penampang patahan (A) dari uji impak (mm^2)

4.1.1 Data Uji Impak Aluminium 6061 Hasil Proses Aging

Setelah dilakukan proses *aging*, kemudian benda kerja di uji impak untuk mengetahui besarnya energi impak dan kekuatan impak yang didapatkan. Data yang diperoleh dari uji impak ditunjukkan pada tabel berikut.

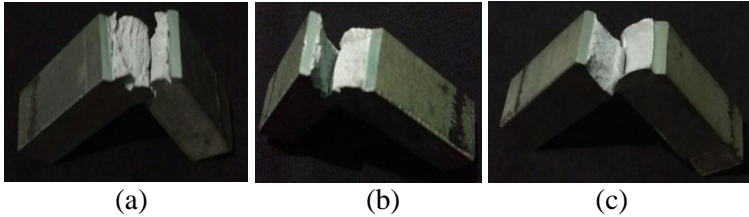
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Impak Material aging pada suhu 100°C , 125°C , 150°C , 175°C , dan 200°C .

Suhu Aging	Spesimen	Sudut	A	Pengujian Setelah di Quenching di air	
				E (Joule)	IS (Joule/mm ²)
100°C	1	109	80	336.66	4.11
	2	111	80	311.16	3.82
	3	113	80	286.15	3.53
Rata-rata				311.26	3.82
125°C	1	117	80	237.12	2.84
	2	120	80	201.42	2.45
	3	120	80	201.42	1.47
Rata-rata				213.29	2.54
150°C	1	120	80	201.42	2.45
	2	122	80	178.28	2.15
	3	125	80	144.45	1.76
Rata-rata				174.65	2.05
175°C	1	101	80	441.10	5.39
	2	107	80	362.35	4.51
	3	109	80	336.66	4.11
Rata-rata				380.00	4.60
200°C	1	101	80	441.10	5.39
	2	103	80	414.62	5.09
	3	107	80	362.35	4.51
Rata-rata				405.99	5.00

Keterangan

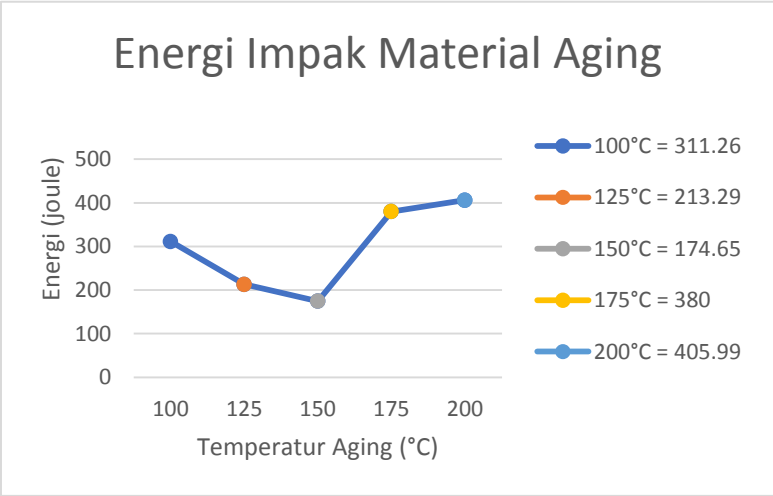
E = Energi Impak

IS = Kekuatan Impak

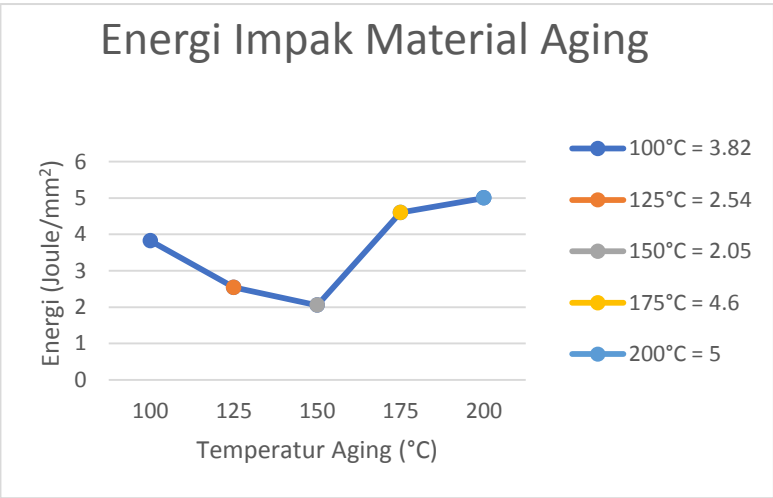


Gambar 4.1 Material Hasil Uji Impak

Dari tabel hasil uji impak diatas didapatkan nilai rata-rata energi impak dan kekuatan impak benda kerja yang telah diberi proses aging pada suhu 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, dan 200°C. Dari pengujian impak didapat hasil data berupa sudut (β) yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui energi impak dan kekuatan impak. Nilai rata-rata energi impak dan kekuatan impak dapat ditunjukkan secara detail melalui grafik berikut.



Gambar 4.2 Grafik Energi Impak Material Aging



Gambar 4.3 Grafik Kekuatan Impak Material Aging

4.1.2 Analisa Hasil Uji Impak Aluminium 6061 dengan Variasi Temperature Aging

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa energi impact dan kekuatan impact semakin menurun dari temperatur 100°C -150°C, tetapi ketika temperatur aging dinaikkan lagi melewati 150°C energi impact dan kekuatan impact justru mengalami kenaikan.

Pada saat temperatur aging 100°C didapatkan nilai energi impact sebesar 311.26 joule dan kekuatan impact sebesar 3.82 joule/mm². Ketika temperatur aging dinaikkan menjadi 125°C maka nilai energi impactnya dan kekuatan impact menurun menjadi 213.29 joule dan 2.54 joule/mm². Penurunan nilai energi impact dan kekuatan impact tertinggi diperoleh ketika temperatur aging dinaikkan menjadi 150°C yaitu nilainya menjadi 174.65 joule dan 2.05 joule/mm². Ketika temperatur aging dinaikkan pada temperatur 175°C nilai energi impact dan kekuatan impact naik menjadi 380 joule dan 4.60 joule/mm² dari temperatur aging 150°C. dan ketika di temperatur 200°C nilai energi impact dan kekuatan juga naik menjadi 405.99 joule dan 5 joule/mm².

4.1.3 Pembahasan Hasil Uji Impak Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging

Jika melihat hasil tersebut didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur aging yang diberikan pada aluminium 6061 terjadi penurunan nilai energi impact dan kekuatan impact sampai dengan temperatur 150°C. Hal ini disebabkan karena dari temperatur 100°C - 150°C didalam struktur mikronya semakin banyak ditemukan presipitat. Presipitat akan membuat energi impact dan kekuatan impact menjadi turun dan material menjadi getas. Patahan hasil uji impact yang mengkilat dan berbutir menunjukkan bahwa material menjadi semakin getas. Pada temperatur aging 200°C energi impact dan kekuatan impact naik, hal ini ditunjukkan dengan jumlah presipitat yang menurun. Juga dilihat dari patahan hasil uji impact material putus dan patahannya tampak lebih suram dan berserabut.

4.2 Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses Aging

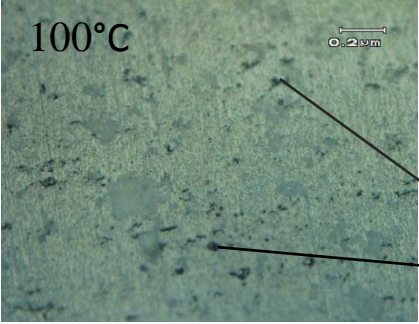
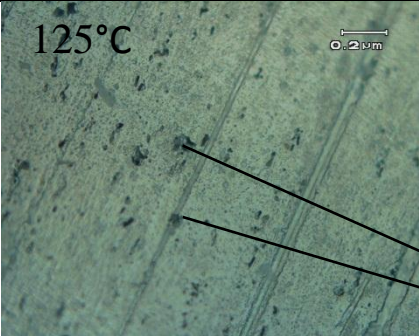
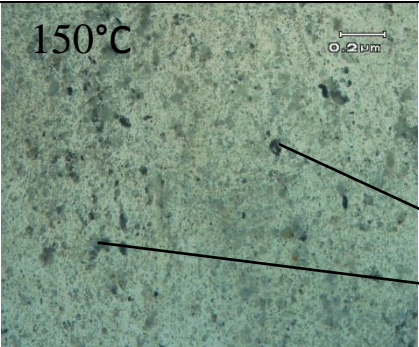
Uji metalografi adalah pengujian untuk melihat struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optic. Sebelum diamati dengan mikroskop optic, benda uji di etsa menggunakan larutan reagen Keller's. Perubahan struktur mikro ini merupakan data kualitatif untuk mendukung data nilai perubahan kekerasan dan kekuatan impak terhadap perubahan suhu aging. Hasil dari benda kerja yang telah di etsa bisa dilihat pada gambar 4.6 berikut

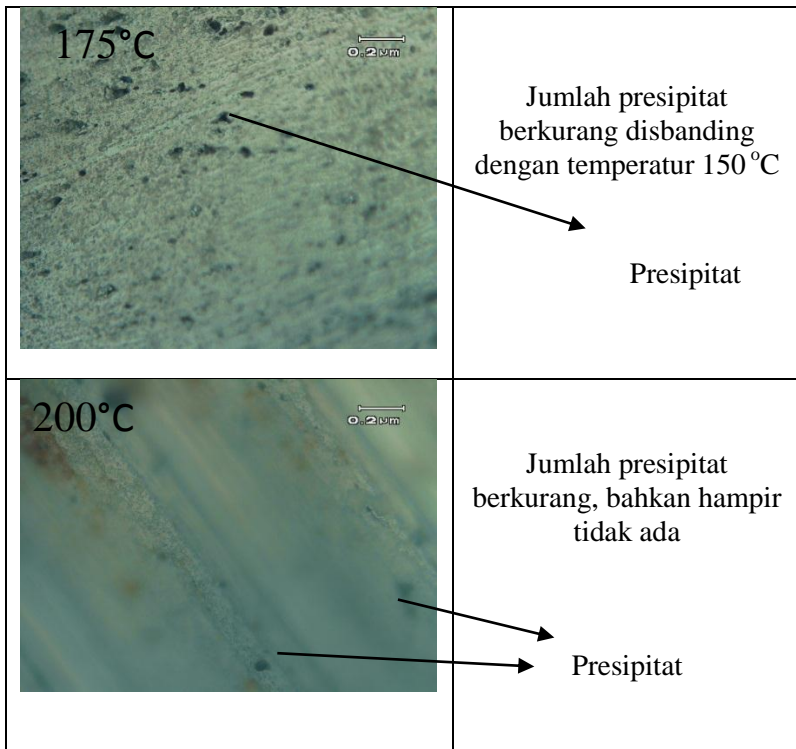


Gambar 4.4 Material Uji Metalografi Setelah di Etsa dengan Larutan Regen Keller's

4.2.1 Data Uji Metalografi Aluminium 6061 Hasil Proses Aging

Aluminium 6061 diberikan solution treatment pada temperatur 300°C selama 1 jam. Setelah itu di *quenching* dengan media air. Setelah itu benda kerja di *aging* dengan merubah variasi temperaturnya yaitu 100 °C, 125 °C, 150 °C, 175 °C, dan 200 °C dan waktu tahan yang dibuat tetap yaitu selama 1 jam. Dari semua proses itu terdapat perbedaan struktur mikro yang dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut

 <p>100°C</p>	<p>Presipitat mulai terlihat dalam pengamatan dengan mikroskop optic. Namun penyebaran presipitat masih kurang merata dan tertata</p> <p>Presipitat</p>
 <p>125°C</p>	<p>Presipitat semakin banyak jumlahnya daripada di temperatur sebelumnya dan penyebarannya juga lebih merata.</p> <p>Presipitat</p>
 <p>150°C</p>	<p>Presipitat semakin banyak jumlahnya dan penyebaran presipitat lebih merata dan tertata.</p> <p>Presipitat</p>



Gambar 4.5 Struktur Mikro Material Aging 100 °C, 125 °C, 150 °C, 175 °C, dan 200 °C

4.2.2 Analisa Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging

Terlihat struktur mikro dari gambar tersebut bahwa semakin tinggi temperatur aging maka semakin banyak jumlah presipitat yang terbentuk dan persebaran presipitatnya semakin merata. Batas maksimal pertumbuhan presipitat yaitu sampai temperatur 150 °C. jumlah presipitat turun dan persebarannya menjadi kurang merata ketika aging pada temperatur 175 °C, hampir tidak ada di temperatur 200 °C.

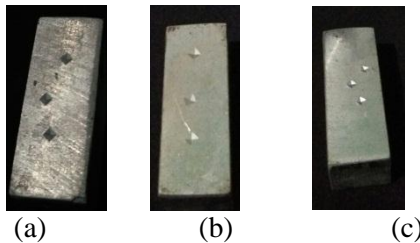
4.2.3 Pembahasan Hasil Uji Metalografi Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging

Perubahan bentuk struktur mikro pada Aluminium 6061 terjadi disebabkan adanya perlakuan panas. Bersamaan dengan peningkatan temperatur aging yang diberikan terlihat perbedaan bentuk struktur mikro. Perubahan struktur mikro yang terjadi dikarenakan pemanasan yang diberikan memberi peluang atom untuk bergerak dan menata letaknya, sehingga bentuk struktur atom menjadi lebih tertata. Dengan penambahan waktu aging bentuk presipitat menjadi tertata dan kelihatan lebih rapat. Struktur mikro yang kelihatan tertata seiring dengan pertambahan waktu aging dikarenakan Zona GP yang terbentuk terus berkembang baik dari segi ukuran, maupun jumlahnya. Kenaikan temperatur menyebabkan presipitat bertambah besar dan jumlah juga bertambah banyak, hal ini menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin rapat. Presipitat yang rapat inilah yang kemudian bertindak sebagai penghalang terjadinya dislokasi yang menunjukkan bahwa material bertambah keras.

Akan tetapi pada temperatur aging 200°C bentuk struktur mikronya tidak lebih baik dibandingkan pada temperatur aging 175°C. Seiring peningkatan temperatur aging presipitat tumbuh dan bertambah banyak. Ketika temperatur aging sampai pada batas *peak aged* akan terbentuk presipitat metastabil. Jika sampai kondisi ini temperatur dinaikan lagi maka presipitat yang terbentuk akan menggabung dan menjadi inkoheren dengan matriknya. Sehingga pada pengujian kekerasan pada temperatur aging 150 °C didapat hasil yang paling optimum sedangkan pada temperatur 200 °C hasil kekerasan lebih rendah dibandingkan pada temperatur 175 °C.

4.3 Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses Aging

Uji kekerasan dilakukan setelah benda uji di proses *aging*. Variabel yang diubah adalah temperatur proses *aging* dan waktu tahan (*holding time*) dibuat tetap. Pada Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menggunakan Vickers hardness. Uji kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *aging* terhadap nilai kekerasan aluminium 6061.



Gambar 4.6 Material Hasil Uji Kekerasan

Data dari uji kekerasan ini bisa diuraikan seperti berikut: metode uji yang dipakai adalah *Vickers hardness*. Gaya Tekan (F) senilai 100 N. Diagonal Tapak Tekan Rata-rata (d) dengan satuan Mm. Sudut Apex (α) yang digunakan senilai 136° . Indentor yang dipakai adalah Piramida sisi empat terbuat dari intan. Waktu Penekanan dari pengujian ini 10-15 detik.

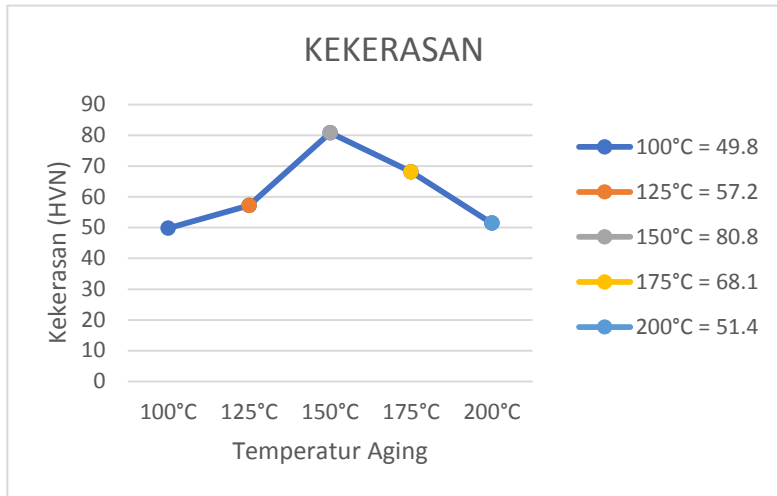
4.3.1 Data Uji Kekerasan Aluminium 6061 Hasil Proses Aging

Berikut data yang diperoleh dari uji kekerasan setelah benda kerja diproses *aging*, kemudian benda kerja di uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dengan adanya variasi temperatur aging yang telah diberikan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 100°C , 125°C , 150°C , 175°C , dan 200°C .

Suhu Aging	Pengujian Setelah di Quenching di air	
	Nilai Kekerasan (VHN)	Rata-rata (VHN)
100°C	50.3	49.8
	49.5	
	49.5	
125°C	57.6	57.2
	57.2	
	56.9	
150°C	81.3	80.8
	81.3	
	79.7	
175°C	68.5	68.1
	68.1	
	67.7	
200°C	51.6	51.4
	51.4	
	51.1	

Didapatkan nilai rata-rata kekerasan dari hasil uji kekerasan benda kerja yang telah diberi proses aging pada suhu 100°C, 125°C, 150°C, 175°C, dan 200°C. Hasil dari pengujian kekerasan didapat data diagonal tapak tekan rata-rata (d). Data ini digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan. Nilai rata-rata kekerasan dari hasil pengujian dapat dilihat dari grafik berikut .



Gambar 4.7 Grafik Kekerasan Material Aging

4.3.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging

Dapat dilihat pada grafik bahwa nilai kekerasan aluminium 6061 terus naik bersamaan dengan kenaikan temperatur aging. Dimulai dari temperatur 100°C sampai temperatur 150°C. Tapi ketika temperatur aging dinaikkan lagi setelah temperatur aging 150°C didapatkan nilai kekerasan menjadi turun.

Saat aging temperatur 100°C nilai kekerasan benda uji sebesar 49.8 HVN. Ketika temperatur aging dinaikkan menjadi 125°C, nilai kekerasan naik dengan nilai 57.2 HVN. Kenaikan nilai kekerasan tertinggi didapat ketika temperatur aging dinaikkan menjadi 150°C yaitu sebesar 80.8 HVN. Ketika temperatur aging dinaikkan pada temperatur 175°C nilai kekerasan turun menjadi 68.1 HVN dari temperatur aging 150°C yang nilainya sebesar 80.8 HVN. Dan pada temperatur 200°C nilai kekerasan menjadi 51.4 HVN.

4.3.3 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Aluminium 6061 dengan Variasi Temperatur Aging

Data yang didapat dari uji kekerasan aluminium 6061 menunjukkan bahwa variasi temperatur aging berpengaruh pada nilai kekerasan. Semakin tinggi temperatur sampai batas yang ditentukan maka kekerasan aluminium 6061 akan semakin meningkat pula. Aging pada suhu 100°C (*natural aging*) mengalami pengerasan tahap pertama yang mempunyai fase zona [GP 1]. Aging pada temperatur 125°C menghasilkan kekerasan yang lebih besar dibanding aging pada temperatur 100°C, dan temperatur aging 150°C lebih besar dari temperatur 125°C, meskipun temperatur aging 150°C masih termasuk dalam fase zona [GP 1]. Hal itu dikarenakan pada temperatur 150°C merupakan akhir dari pengerasan tahap pertama dan maksimal terbentuknya fase zona [GP 1]. kekerasan tertinggi didapat pada temperatur aging 150°C senilai 80.8 HVN, yang merupakan masih daerah temperatur *peak aged*. Pada kekerasan ini aluminium 6061 berada pada zona [GP 2] atau Fasa θ'' yang termasuk pengerasan tahap kedua setelah dari zona [GP 1]. Ketika temperatur aging 175°C nilai kekerasan yang semula terus naik mulai dari temperatur 100°C sampai dengan 150°C berubah turun. Hal ini disebabkan karena setelah melalui fasa zona [GP 2] atau Fasa θ'' bila temperatur dinaikkan lagi maka fasanya akan berubah menjadi fasa θ . Terbentuknya fasa θ membuat aluminium menjadi lunak.

Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa kenaikan nilai kekerasan aluminium 6061 dari temperatur 100°C-150°C ditandai dengan semakin banyak presipitat yang ada. Presipitat yang bertambah besar dan jumlah yang juga bertambah banyak menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin padat. Presipitat yang padat inilah yang bertindak sebagai penghalang yang menyebabkan pergeseran dislokasi semakin sulit ketika terjadi deformasi pada paduan. Tampak dari struktur mikro bahwa nilai kekerasan turun ketika aging pada temperatur 175°C disebabkan jumlah presipitat menjadi turun. Hal ini dikarenakan

adanya penggabungan atau pengerasan presipitat yang menjadi koheren dengan matriknya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan data hasil uji impak, uji kekerasan dan uji metalografi mengenai pengaruh variasi temperatur terhadap aluminium 6061, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil uji struktur mikro menunjukkan hasil yaitu, didapati presipitat aluminium 6061 semakin banyak, tertata, dan merata, apabila temperatur *aging* semakin tinggi 100°C - 150°C. Namun, jika temperatur aging ditambahkan mencapai 175 °C maka presipitat yang terbentuk akan menggabung dan menjadi tidak teratur dengan matriknya. Pada saat temperatur naik menjadi 200°C maka presipitat semakin sedikit dan hampir tidak terlihat. Jadi benda uji yang paling banyak didapatkan presipitat adalah benda uji dengan temperatur aging 150 °C.
2. Hasil uji impak menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur aging 100°C - 150°C didapatkan nilai energi impak dan kekuatan impak semakin menurun. Nilai terendah energi impak pada temperatur 150 °C sebesar 17,81 dan kekuatan impak sebesar 0,21 joule/mm². Temperatur 150°C disebut sebagai batas temperatur *peak aged*. Ketika temperatur *aging* ditambahkan lagi melewati batas temperatur *peak aged* menjadi 175 °C maka nilai energi impak mengalami kenaikan yaitu sebesar 38,75 joule dan kekuatan impak sebesar 0,47 joule/mm² dan terus naik hingga temperatur 200°C yang memiliki nilai energi impak 41,40 joule dan kekuatan impak 0,51 joule/mm². Jadi untuk uji impak benda uji yang paling besar nilai energy impak adalah benda uji pada temperatur 200 °C.

3. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur aging 100°C - 150°C didapatkan nilai kekerasan yang semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada temperatur 150°C yaitu sebesar 80,8 HVN. Temperatur 150°C disebut sebagai batas temperatur *peak aged*. Ketika temperatur *aging* ditambahkan lagi melewati batas temperatur *peak aged* menjadi 175°C maka nilai kekerasannya menurun, yaitu sebesar 68,1 HVN, begitu pula jika temperatur naik menjadi 200 °C maka nilai kekerasan semakin menurun menjadi 51,4 HVN. Jadi benda uji yang mempunyai nilai kekerasan paling tinggi adalah benda uji pada temperatur aging 150 °C.

5.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan peralatan yang lebih canggih agar didapatkan hasil penelitian yang lebih baik.
2. Perlu adanya penelitian tentang kandungan paduan yang terbentuk setiap variasi temperatur *aging*.
3. Perlu adanya penelitian tentang penambahan unsur paduan, waktu tahan *aging*, media pendingin sehingga didapatkan sifat mekanik yang lebih baik dan dapat di aplikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International Standard E3-95, *Standart Practice for preparation of Metallographic Specimens*.
2. ASTM International Standard E-23, *Standart Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*.
3. ASTM International Standart E92-82, *Standart Test Methods for Vickers Hardness Metallic Materialc*
4. Prof. Ir. Tata Surdia MS. Met. E. and Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta; PT. Pradnya Paramita
5. Adeyemi Dayo Isadarea, Bolaji Aremob, Mosobalaje Oyebamiji Adeoyec, Oluyemi John Olawalec, Moshood Dehinde Shittuc. 2013. *Effect of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of 7075 Aluminium Alloy*. Journal University, Ile-Ife, Nigeria
6. LI Jin-feng, PENG Zhuo-wei, LI Chao xing, JIA Zhi-qiang, CHEN Wen-jing, ZHENG Zi-qiao. 2007. *Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments*. Journal Central South University Changsha 410083 China
7. Abdan Syakuura. 2011. *Proses Pengecoran Vakum dan Analisis Evolusi Mikrostruktur Paduan Al-Zn-Mg-Cu dengan Variasi Komposisi Selama Aging Pada Temperatur 120°C dan 190°C*, Journal Universitas Indonesia

8. FUAD ABDILLAH. 2010. *PERLAKUAN PANAS PADUAN AL-SI PADA PROTOTIPE PISTON BERBASIS MATERIAL PISTON BEKAS*. Jurnal Universitas Diponegoro Semarang
9. Avner, H, S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy. 2nd edition*, New York; Mc Graw Hill International Editions.
10. Callister, D.William dan David G.Rethwisch. 2013 *Material Science and Engineering. 9th edition*, United States Of America: Wiley Binder.
11. Tomoya Aoba, Masakazu Kobayashi, Hiromi Miura. 2017. *Effects of aging on mechanical properties and microstructure of multidirectionally forged 7075 aluminum alloy*. Journal Department of Mechanical Engineering Toyohashi University of Technology Japan.
12. Arino Anzip dan Suhariyanto. 2006. *Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6*. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 8, No. 2, Oktober 2006: 64 – 68
13. Eddy Widiyono, Suhariyanto, Hari Subiypanto. 2011. *Teori dan Praktikum Ilmu Bahan*. Prodi D3 Teknik Mesin ITS kerjasama PT PLN (persero)

LAMPIRAN

- 1) Perhitungan energi impact dan kekuatan impact mengacu dengan rumus yang ada pada bab 2

Material Aging 100°C (Spesimen 1)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 109^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 109 - \cos 140) \\ &= \mathbf{34,33 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{336,66 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{34,33 \text{ kgm}}{54,88 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,42 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{4,11 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Material Aging 100°C (Spesimen 2)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 111^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 111 - \cos 140) \end{aligned}$$

$$= 31,73 \text{ kgm}$$

$$= 311,16 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{31,73 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,39 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 3,82 \text{ joule/ mm}^2$$

Material Aging 100°C (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 113^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 113 - \cos 140)$$

$$= 29,18 \text{ kgm}$$

$$= 286,15 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{29,18 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,36 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 3,53 \text{ joule/ mm}^2$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 100°C = **31,74 kgm = 311,26 Joule**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 100°C = **0,39 kgm = 3,82 joule**

Material Aging 125°C (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 117^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 117 - \cos 140) \\ &= \mathbf{24,18 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{237,12 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{24,18 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,29 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{2,84 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Material Aging 125°C (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 120^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 120 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{20,54 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{201,42 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{20,54 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{0,25 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{2,45 \text{ joule/ mm}^2}$$

A. Material Aging 125°C (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 120^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 120 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{20,54 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{201,42 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{20,54 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{0,15 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{1,47 \text{ joule/ mm}^2}$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 125°C = 21,75 **kgm = 213,29 Joule**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 125°C = **0,26 kgm/mm² = 2,54 joule/mm²**

Material Aging 150°C (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 120^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 120 - \cos 140) \\ &= \mathbf{20,54 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{201,42 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{20,54 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,25 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{2,45 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Material Aging 150°C (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 122^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 122 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{18,18 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{178,28 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{18,18 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{0,22 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{2,15 \text{ joule/ mm}^2}$$

Material Aging 150°C (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 125^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 125 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{14,73 \text{ kgm}}$$

$$= \mathbf{144,45 \text{ joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{14,73 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{0,18 \text{ kgm/mm}^2}$$

$$= \mathbf{1,76 \text{ joule/ mm}^2}$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 150°C = 17,81 = **174,65 Joule**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 150°C = **0,21 = 2,05 joule/mm²**

B. Material Aging 175°C (Spesimen 1)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 101^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 101 - \cos 140) \\ &= \mathbf{44,98 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{441,10 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{44,98 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,55 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{5,39 \text{ joule/mm}^2} \end{aligned}$$

Material Aging 175°C (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 107^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\
 &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 107 - \cos 140) \\
 &= \mathbf{36,95 \text{ kgm}} \\
 &= \mathbf{362,35 \text{ joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{36,95 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{0,46 \text{ kgm/mm}^2} \\
 &= \mathbf{4,51 \text{ joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

Material Aging 175°C (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 109^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\
 &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 109 - \cos 140) \\
 &= \mathbf{34,33 \text{ kgm}} \\
 &= \mathbf{336,66 \text{ joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{34,33 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{0,42 \text{ kgm/mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 4,11 \text{ joule/ mm}^2$$

- Nilai energi impact rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 175°C = 38,75 **kgm = 380,00 Joule**
- Nilai kekuatan impact rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 175°C = **0,47 kgm/mm² = 4,60 joule/mm²**

C. Material Aging 200°C (Spesimen 1)

- Mengacu pada rumus bab 2

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 101^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 101 - \cos 140)$$

$$= 44,98 \text{ kgm}$$

$$= 441,10 \text{ joule}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{44,98 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$= 0,55 \text{ kgm/mm}^2$$

$$= 5,39 \text{ joule/ mm}^2$$

Material Aging 175°C (Spesimen 2)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 103^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 103 - \cos 140) \\ &= \mathbf{42,28 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{414,62 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{42,28 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{0,52 \text{ kgm/mm}^2} \\ &= \mathbf{5,09 \text{ joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

Material Aging 175°C (Spesimen 3)

- **Mengacu pada rumus bab 2**

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,6 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 107^\circ ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\cos\beta - \cos\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,6 \text{ m} (\cos 107 - \cos 140) \\ &= \mathbf{36,95 \text{ kgm}} \\ &= \mathbf{362,35 \text{ joule}} \end{aligned}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{36,95 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,46 \text{ kgm/mm}^2 \\
 &= 4,51 \text{ joule/ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 200°C = 41,40 **kgm = 405,99 Joule**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material aging 200°C = **0,51 kgm/mm² = 5,00 joule/mm²**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 14 Desember 1996 di Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Jeparo 3 Surabaya, SMPN 7 Surabaya, SMAN 1 Surabaya. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengambil bidang studi Manufaktur. Selain itu penulis juga mengambil Program Studi D2 Bahasa Arab Mahad Umar Bin Khatab.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT Dok Dan Perkapalan Surabaya yang ditempatkan pada divisi bengkel mesin. Dari kerja praktek itulah penulis mendapatkan tema untuk mengerjakan Tugas Akhir ini. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: erik141296@gmail.com